

Villamoshajtások fokozatváltás ütemezésének biztonsági kérdései

Sándor Tamás

Sándor Tamás, Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Elektronikai és Kommunikációs Rendszerek Intézet Műszertechnikai és
Automatizálási Tanszék, Tavaszmező utca 17., 1084, Budapest Magyarország,
sandor.tamas@kvk.uni-obuda.hu, Biztonságtudományi Doktori Iskola, József
körút 6., 1088 Budapest, Magyarország sandor.tamas@stud.uni-obuda.hu

Absztrakt: A kritikus infrastruktúrák egy társadalom lényeges működési területét határozzák meg. A szakirodalmi csoportosítás során a közlekedés, és ebben a tömegközlekedés egy meghatározó területet jelent. A mai tömegközlekedés egy fontos része a buszok, amelyek a felhasználási területük (városi, távolsági vagy turisztikai) szerint lényegesen különböző hajtási megoldásokat adhatnak. A hajtások esetében lényeges különbséget jelentenek a belsőégésű és az elektromos hajtású rendszerek. A villamoshajtású rendszerekben a tisztán villamoshajtás esetében számos szempontot kell figyelembe vennünk, de az egyik fontos tényező a rendszernek a hatásfoka. Emellett egy másik fontos tényező ezen rendszerek a megbízhatósága és a további biztonsági kérdések. Ebben a cikkben ezek a területek kerülnek összegyűjtésre. A kutatás során egy dualmotoros villamoshajtás esetében a hajtás egyes elemeinek, így a háromfázisú szinkronhajtású villamosmotor, az ehhez kapcsolódó elektropneumatikus fokozatváltóknak, illetve ezek kimenetén megjelenő nyomaték összegzését végző nyomatékösszegzőből felépülő rendszer vizsgálata során felmerülő biztonsági kérdések kerülnek összegzésre. A kutatási módszerként elsődlegesen MATLAB Simulink szimulációt alkalmaztunk, ahol a teljes elektromos hajtású jármű modellezésre került. A modellben az egyes főbb egységek jellemző részegységei jól paraméterizálhatók voltak, ezzel támogatva a vezérlés optimalizálását biztosító hajtásvezérlési algoritmusok fejlesztését. Az algoritmus fejlesztés során kiemelt elvárás volt a gyorsulás alapú intelligens áramkorlát-modulációs eljárás megvalósítása a járműdinamika többletenergia nélküli javításának biztosításával, a mesterséges intelligenciát tartalmazó hajtásvezérlési rendszer megvalósítása, és a hatékony energiagazdálkodást lehetővé tevő rendszer létrehozása hulladékhő hasznosításával. A MATLAB Simulink modell alapján elkészült algoritmusok tesztelése a következő kutatási fázisban az elkészülő kísérleti járművön is tesztelésre kerül.

Kulcsszavak: villamoshajtások, fokozatváltás ütemezése; ütemező algoritmusok; intelligens áramkorlát-modulációs eljárás;

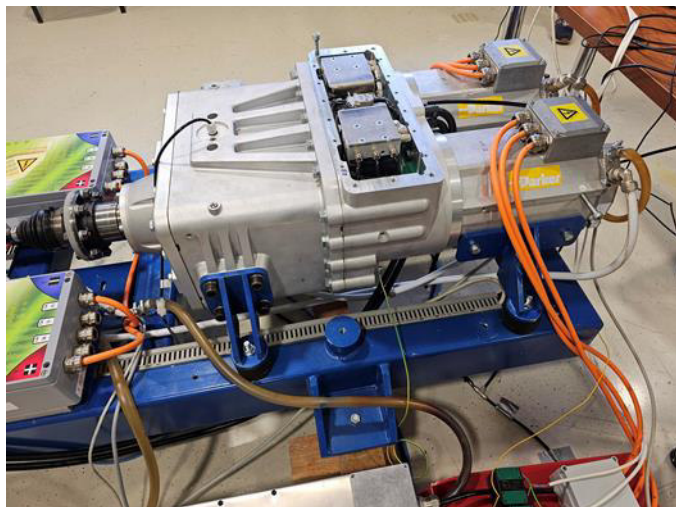
1. Bevezetés

1.1. Kutatási tématerület

Az Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskolájában 2023. szeptemberében kezdett PhD tanulmányom kutatási tervében megfogalmazott témája a „Kritikus infrastruktúrában, mint tömegközlekedésben, alkalmazott elektromos buszok mesterséges intelligenciát tartalmazó hajtásvezérlési rendszer hatásfokának növelése környezeti paraméterek alapján, valamint ezen rendszerek működésfolytonossági és biztonsági kérdései”. A kutatás egy valós, az Óbudai Egyetem Salgótarjáni Képzési Központ és Kutatóhelyén megvalósulás alatt álló projekt, amelynek a vezetése keretében számos kutatási eredmény született, amelyek különféle fórumokon publikálásra kerültek, így az MDPI gondozásában megjelenő Vehicle [1], illetve Machines [2] folyóiratokban, emellett a 2021-ben [3] [4] [5] [6] [7], 2022-ben [8] és 2023-ban [9] IEEE konferenciákon, amelyeken ezek az eredmények konferencia cikkek formájában közlésre is kerültek. Emellett Kandó Konferenciákon is történtek publikálások [10] [11] [12].

1.2. Előzmények

Az Óbudai Egyetem Salgótarjáni Képzési Központ és Kutatóhelyén 2020 óta folyó kutatás keretében a városi és távolsági tömegközlekedésre alkalmas elektromos járművek villamoshajtásrendszerének fejlesztése folyik. Ennek keretében egy dualmotoros villamoshajtásra épülő hajtásrendszer fejlesztése folyik, amely két darab 150kW-os háromfázisú szinkronmotort, a motorokhoz kapcsolódó egy-egy elektropneumatikus négyfokozatú fokozatváltót, és ezen kimeneteken található nyomatékok összegzését végző nyomatékösszegzőt tartalmaz az 1. ábra szerint.

**6. ábra**

A mérőpadon elhelyezett villamoshajtás [1]

A mérőpadi mérésekhez rendelkezésre állt megfelelő nagyságú terhelőgép is a 2. ábra szerint, így a mérőpadi mérések során a kilakított rendszer hasznos támogatója volt az algoritmus fejlesztésnek.

**7. ábra**

A mérőpadon elhelyezett villamoshajtás a terhelőgéppel együtt [1]

A mérőpadon elhelyezett terhelőgéppel kiegészített villamoshajtás vezérlését egyedileg tervezett CAN kommunikáción alapuló vezérléssel került megoldásra. A teljes rendszer további főbb részeit a központi vezérlőrendszerhez kapcsolódó

egyes elektronikus vezérlőegységek alkotják, amelyek kommunikációja szintén CAN kommunikációra alapul.

2. Kutatási célok

A kutatás során a dualmotoros villamoshajtás egyes elemeinek, a háromfázisú szinkronhajtású villamosmotornak, az elektropneumatikus fokozatváltónak, és az ezek kimenetén megjelenő nyomaték összegzését végző nyomatékösszegzőnek a vezérlését és folyamatos állapot figyelését kellett megoldani. A felsorolt elemek közül különösen fontos a fokozatváltónak a megfelelő ütemben történő vezérlése, amelynek a megfelelő ütemezését biztosító algoritmusok kutatása egy kiemelt cél [13] [14]. Az algoritmusok megalkotása során célként megfogalmazott gyorsulás alapú intelligens áramkorlát-modulációs eljárás megvalósítása a járműdinamika többletenergia nélküli javításának biztosítása, emellett a mesterséges intelligenciát tartalmazó hajtásvezérlési rendszer megvalósítása, és a hatékony energiagazdálkodást lehetővé tevő rendszer létrehozása hulladékhő hasznosításával mellett a működés biztonsági kérdések is elő kellett, hogy kerüljenek, így a nagy megbízhatóságú folyamatos működés biztosítása, illetve a villamoshajtás vezérlését biztosító központi vezérlő és hozzá kapcsolódó további vezérlők manipulálhatóságának a megakadályozását biztosító eljárások.

3. Megvalósítás

A kutatási módszerként elsődlegesen MATLAB Simulink szimuláció [9] került alkalmazásra, ahol a teljes elektromos hajtású jármű modellezésre került. A modellben az egyes főbb egységek jellemző részegységei jól paraméterizálhatók voltak, ezzel támogatva a vezérlés optimalizálását biztosító hajtásvezérlési algoritmusok fejlesztését [15] [16]. Az algoritmus fejlesztés során kiemelt elvárás volt a gyorsulás alapú intelligens áramkorlát-modulációs eljárás megvalósítása a járműdinamika többletenergia nélküli javításának biztosításával, a mesterséges intelligenciát tartalmazó hajtásvezérlési rendszer megvalósítása, és a hatékony energiagazdálkodást lehetővé tevő rendszer létrehozása hulladékhő hasznosításával. A MATLAB Simulink modell [8] [9] alapján elkészült algoritmusok tesztelése a következő kutatási fázisban az elkészülő kísérleti járművön is tesztelésre kerül [17].

4. Összefoglalás

A kutatás jelenlegi fázisában számos eredmény alátámasztja, hogy a célkitűzésben megfogalmazott gyorsulás alapú intelligens áramkorlát-modulációs eljárás megvalósítása a járműdinamika többletenergia nélküli javításának biztosítását, a mesterséges intelligenciát tartalmazó hajtásvezérlési rendszer megvalósítását, és a hatékony energiagazdálkodást biztosító algoritmusok működése igazolható lesz a valós fizikai járművel történő tesztelés során is, illetve jól kiegészül a megbízhatóságot és működésbiztonságot biztosító funkcionalitással. Emellett a jármű megbízható működését biztosító kommunikációs rendszerek, és a működtetést biztosító beágyazott rendszerek hardvereinek és szoftvereinek támadhatósága lényegesen csökkenthető, és a támadások kivédésének biztosítására alkalmazott funkcionalitások fontos részét képezik majd a rendszernek.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnénk mondani az Óbudai Egyetemnek, hogy lehetőséget biztosított egy futó pályázati kutatás keretében jelen kutatás technikai feltételeinek biztosításához, illetve Dr. habil Wühl Tibor témavezetőmnak a kutatási munkában nyújtott nagyon sok hasznos taácsért és útmutatásért.

Hivatkozások

- [1] T. Sándor, I. Bendiák és R. Szabolcsi, „Efficiency-Oriented Gear Selection Strategy for Twin Permanent Magnet Synchronous Machines in a Shared Drivetrain Architecture,” *Vehicles*, %1. kötet7, p. 110, 29 September 2025.
- [2] T. Sándor, I. Bendiák, D. Borsos és R. Szabolcsi, „Heat Loss Calculation of the Electric Drives,” *Machines*, %1. kötet988, p. 27, 2025.
- [3] A. Fodor and T. Sándor, "Development of a Drivecycle-based Twin Drive Control Procedure to Increase the Efficiency of Electric Motors," in *2023 IEEE 21st World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, Herl'any, Slovakia, 2023.
- [4] A. Fodor és T. Sándor, „Villamos motorok hatékonyságának meghatározása a járműsebessegből visszaszámolással,” in *XXXVIII. Kando Konferencia*,

Budapest, 2022.

- [5] D. Borsos és T. Sándor, „Környezeti paraméterek figyelésére alapozott mesterséges intelligenciát tartalmazó hajtásvezérlési rendszer problémái,” in *XXXVIII. Kando Konferencia (2022)*, Budapest, 2022.
- [6] A. Fodor és T. Sándor, „Calculating the efficiency of an electric motor from the speed of the vehicle and the slope of the road,” in *2022 IEEE 5th International Conference and Workshop Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*, Budapest, 2022.
- [7] I. Bendiák és T. Sándor, „Autóbuszok villamos hajtásának összehasonlítása és optimalizálása,” in *XXXVIII. Kando Konferencia (2022)*, Budapest, 2022.
- [8] B. j. Héjja és T. Sándor, „The role of traffic effects and environmental effects in optimizing the consumption of an electric bus,” in *2021 IEEE 4th International Conference and Workshop 'Obuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*, Budapest, 2021.
- [9] A. Fodor és T. Sándor, „Study of vehicle dynamic properties and gear shifting mechanism of electric vehicles,” in *2021 IEEE 4th International Conference and Workshop 'Obuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*, Budapest, 2021.
- [10] S. K. Somogyi és T. Sándor, „Efficiency optimization of electric buses through transmission control,” in *2021 IEEE 4th International Conference and Workshop Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*, Budapest, 2021.
- [11] I. Bendiák és T. Sándor, „Comparison of the propulsion of electric vehicles for passenger cars and buses in terms of efficiency optimization,” in *2021 IEEE 4th International Conference and Workshop 'Obuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*, Budapest, 2021.
- [12] I. Bendiák, „Analysis of Shaft Alignment Fault of Asynchronous Motors by Current Signature Method,” in *2021 IEEE 4th International Conference and Workshop 'Obuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*, Budapest, 2021.
- [13] M. D. and H. B., "Vehicle automation impact on traffic flow and stability: A review of literature," *Acta Polytechnica Hungarica*, vol. vol. 20, no. no. 5, p. 129–148, 2023.
- [14] I. Zsombok és M. Zoldy, „Modelling, simulation and validation of hybrid vehicle fuel consumption,” *Acta Polytechnica Hungarica*, %1. kötetvol. 20, %1. számno. 5, pp. 61-74, 2023.

- [15] T. Sipos, „Cognitive dissonance on sustainable mobility,,” *Acta Polytechnica Hungarica*, %1. kötetvol. 20, %1. számno. 5, p. 31–40., 2023.
- [16] S. Ferrari, P. Ragazzo, G. Dilevrano és G. Pellegrino, „Flux-Map Based FEA Evaluation of Synchronous Machine Efficiency Maps,” in *IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD)*, IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD), 2021.
- [17] J. Brousek, L. Krcmar és P. Rydlo, „Efficiency Measuring of Electric Drive with Traction Synchronous Motor with Permanent Magnets,” in *IEEE International Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their application to Mechatronics (ECMSM)*, 2021.